

ÜBER DEN EINFLUSS DER EINBETTMASSEN, DER GUSSKANALSTÄRKE
UND DER ANBRINGUNG VON LUFTABZUGSKANÄLEN
AUF DIE LUNKERBILDUNG

VON

PETER DYGATZ

1960

Aus der Universitäts-Klinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Direktor: Prof. Dr. F. Jung

ÜBER DEN EINFLUSS DER EINBETTMASSEN, DER GUSSKANALSTÄRKE
UND DER ANBRINGUNG VON LUFTABZUGSKANÄLEN
AUF DIE LUNKERBILDUNG

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von

PETER DYGATZ

aus Gleiwitz

MAINZ 1968

Dekan: Professor Dr. Dr. Thews
Referent: Priv. Doz. Dr. H. Marx
Korreferent: Professor Dr. F. Jung
Tag der mündlichen Prüfung: 26. Oktober 1968



Gesamtherstellung: Ditters Bürodienst Mainz

INHALTSANGABE

	Seite
Einleitung	1
I. Allgemeines über Fehlerquellen, deren Entstehung und Einteilung	1
1) Gasblasen	1
2) Lunker	2
Die Temperaturverteilung	4
Anbringung des Gußkanals	5
II. Eigene Untersuchungen	6
Arbeitsweise der Schleuder	7
Herstellung der Güsse	7
Mikroskopische Auswertung	8
Quantitative Erfassung der Lunker	9
Statistische Methode	9
Prüfung hinsichtlich der Lunker	10
Zusammenfassung	17
Tabellen-Anhang	18
Literaturverzeichnis	56

EINLEITUNG

Obwohl die physikalischen Vorgänge beim Gießen schon sehr genau bekannt sind und alle erdenklichen Vorsichtsmaßnahmen zur Vermeidung von Fehlgüssen praktiziert werden, sind die Ergebnisse nicht immer befriedigend, sei es, daß der Guß Porositäten mit oder ohne Hilfe eines Mikroskopes erkennen läßt, sei es, daß es an der Paßgenauigkeit eines Gußobjektes mangelt. Die Lunkerbildung ist eine der beim Guß am meisten störenden Erscheinungen. In der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, inwieweit ein Einfluß der Einbettmassen und der Gußkanalstärke auf die Bildung von Lunkern besteht. Es kamen auch Güsse mit Luftabzugskanälen zur Auswertung, da dadurch eine Verbesserung der Ergebnisse erwartet wurde.

1. ALLGEMEINES ÜBER FEHLERQUELLEN, DEREN ENTSTEHUNG UND EINTEILUNG

Von den unerwünschten Erscheinungen an einem Gußstück sind diejenigen an der Oberfläche nicht so gravierend, da die dort auftretenden Gußfahnen, rauhen Oberflächen oder Gußperlen durch sauberes Ausarbeiten und Polieren ohne nennenswerten Substanzverlust beseitigt werden können. Auf diejenigen Veränderungen und Unregelmäßigkeiten, die im Inneren des Gußobjektes auftreten, kann man mit technischen Mitteln nur wenig Einfluß nehmen, da sie physikalischen Gesetzmäßigkeiten unterliegen. Durch Nachbearbeitung können sie nicht beseitigt werden, ja, man macht sie durch notwendige Politur nur noch deutlicher sichtbar. FALCK-WEIKART (9, S.93) teilt die im Innern eines Gusses auftretenden Fehler in zwei große Gruppen:

1. Gasblasen
2. Lunker.

Gasblasen:

Gasblasen bilden sich beim Einschießen der Schmelze in die Hohlform durch Turbulenz oder durch Einschluß der sich im Innern der Gußform befindlichen Luft, die bei zu dichten Einbettmassen bzw. durch Fehlen von Entlüftungskanälen nicht schnell genug entweichen kann. Die Gasblasen entstehen außerdem durch Aufnahme von Gasen beim Schmelzen, vornehmlich, wenn das flüssige Metall überhitzt wird. Erstarrt die Schmelze nach dem Gießen an der Oberfläche zuerst, so können die Gase nicht entweichen und bilden Hohlräume im

Innern des Gußstückes. Im Unterschied zu den Lunkern besitzen die Gasblasen eine glatte Oberfläche, die durch den Gasdruck hervorgerufen wird.

Lunker:

Lunker dagegen sind Schwindungshohlräume, entstanden beim Erstarren des Metalls. Ebenso wie bei allen Metallen ist bei den in der Zahnheilkunde verwendeten Legierungen der Übergang vom flüssigen zum festen Stadium mit einer Kontraktion verbunden. Es lassen sich nach FALCK-WEIKART (9, S. 93) während der Abkühlung und Erstarrung folgende drei Stadien einer Volumenminderung feststellen:

1. beim Abkühlen der Schmelze bis zur Liquidustemperatur,
2. beim Übergang der Schmelze vom flüssigheißen zum festheißen Zustand, bei Legierungen von der Liquidustemperatur zur Solidustemperatur,
3. beim Abkühlen von der Erstarrungstemperatur auf Zimmertemperatur, also vom festheißen zum festkalten Zustand.

Im Gegensatz zu den Metallen weisen die Legierungen ein Erstarrungsintervall auf, wobei am Liquiduspunkt die totale Verflüssigung und am Soliduspunkt die völlige Erstarrung beginnt.

Das Volumen fester Metalle und Legierungen ist also ein anderes, kleineres, als das flüssiger Stoffe. Im Idealfall gibt ein Gußobjekt die Temperatur gleichmäßig nach allen Seiten hin ab, und zwar von außen nach innen fortschreitend. An die äußere erstarrte Schicht werden sich immer neue Schichten nach innen zu anlagern. Die äußere Kristallschicht hat dabei schon einen größeren Temperaturabfall durchlaufen und damit auch eine größere Schwindung erfahren als das noch flüssige Zentrum, das eine noch höhere Temperatur aufweist und daher auch noch eine größere Schwindung zu durchlaufen hat. Da das Volumen der Schmelze größer ist als das der Masse im festen Zustand, tritt eine Volumenverringerung im Innern des Gußstückes ein, es entsteht ein Hohlraum, ein sogenannter Lunker.

Die Schwindungshohlräume entstehen bei einem kugelförmigen Objekt, gleichmäßige Temperaturabgabe vorausgesetzt, in der Mitte. Da in der Praxis dieser Fall infolge verschiedenartiger Gußformen und unterschiedlicher Temperaturverteilung nicht zu erreichen ist, treffen wir die Lunker in allen Größen und an verschiedener Stelle an.

Ihre Zahl, ihre Ausbreitung und Ausbildung hängt vom Schmelz- beziehungsweise Erstarrungsintervall der Legierung, der Richtung und Geschwindigkeit der Abkühlung und der Form des Gußobjektes ab. Unveränderbare Größen sind da-

bei die Legierung mit dem bekannten Schmelz- bzw. Erstarrungsintervall und die gewünschte Form des Gußobjektes. Auf die Richtung und Geschwindigkeit der Abkühlung kann man aber Einfluß nehmen, was ausführlicher in den nächsten Kapiteln beschrieben wird.

Die mehr oder weniger großen und zahlreichen Lunker schwächen naturgemäß die meist zierlichen Gußobjekte derart, daß sie bei normaler Beanspruchung, z.B. gegossene Klammern bei Federwirkung, zum Bruch führen können. Außerdem bilden die mit der Oberfläche in Verbindung stehenden Hohlräume Nischen für Bakterien und Speisereste, so daß man nach Möglichkeiten suchen mußte, sie zu vermeiden. Die Volumenschwindung der Metalle beim Übergang vom flüssigen zum festen Zustand von etwa 5% ist dagegen unvermeidbar, aber kompensierbar durch Einbettmassen, die um den gleichen Betrag expandieren wie die in der zahnärztlichen Praxis gebräuchlichen Legierungen kontrahieren.

Wenn es auch ziemlich einfach ist, die Volumenschwindung annähernd auszugleichen und einen Präzisionsguß zu erhalten, vom Problem der genauen Abdruckmethode einmal abgesehen, so ist es heute doch noch recht schwierig, lunkerfreie Güsse zu erzielen. Die Tatsache, daß es sehr viele Vorschläge und Anleitungen gibt, zeigt auch, wie wenig befriedigend und zuverlässig die Ergebnisse bis jetzt noch sind. Einige Erkenntnisse haben sich durchsetzen können und müssen vom Praktiker unbedingt beachtet werden. In der Literatur finden sich zu diesem Thema zahlreiche Abhandlungen, es seien nur O.LOE-BICH (13) erwähnt mit seiner Arbeit über Anbringung und Stärke der Gußkanäle und die Degussa-Briefe, die auf das Gießen mit dem verlorenen Kopf hinweisen (4).

Nachdem wir die physikalischen Vorgänge erkannt haben, wissen wir, daß die Lunkerbildung nicht vermeidbar ist, wir können aber versuchen, Einfluß auf die Lokalisation zu nehmen. Dazu bedient man sich eines sogenannten, von der Gießerei-Industrie schon vor über fünfundzwanzig Jahren übernommen, verlorenen Kopfes, eines kugelförmigen Gebildes auf dem Gußstift, weniger als einen Millimeter vom eigentlichen Gußobjekt entfernt, das nicht benötigt wird und nach dem Guß wieder abgetrennt werden kann. Der verlorene Kopf dient also als Schmelzreservoir, das heißt, während das Gußobjekt erstarrt, kann er noch flüssiges Metall in die Form abgeben, damit nicht im Gußstück, sondern im verlorenen Kopf die Lunker auftreten. Voraussetzung ist, daß die Temperaturabnahme vom Gußobjekt aus in Richtung Kopf stattfindet. In diesem Fall sprechen wir von einer gerichteten Erstarrung. Sie wird nur erreicht, wenn die Gußmuffel gleichmäßig durchwärmt und der verlorene Kopf eine zweckmäßige Lage und Größe hat.

Die Temperaturverteilung:

Um die Muffel gleichmäßig und nicht zu plötzlich zu erwärmen, sollte dies auf indirekte Weise mit Hilfe eines elektrischen oder gasbetriebenen geschlossenen Vorwärmeofens geschehen, also nicht, wie vielfach üblich, mit einer offenen Flamme, da sonst die ihr zugewandte Seite stärker erhitzt würde und durch die schlechte Wärmeleitung der Einbettmasse kein Temperatúrausgleich eintreten könnte. Die Folge wäre eine ungleichmäßige Abkühlung des Gußobjektes und dadurch die Entstehung von Lunkern nicht nur im verlorenen Kopf. Wird das Metall im Gußtrichter der Einbettmasse geschmolzen, so wird sie in der Gegend des verlorenen Kopfes eine höhere Temperatur aufweisen als in unmittelbarer Nähe des Gußstückes. Die Lunker konzentrieren sich dann im zuletzt erstarrenden Teil, im verlorenen Kopf, da er als Schmelzreservoir dienen kann. An dieser Stelle sei auch gleich erwähnt, daß diese Möglichkeit von der Degussa-Schleuder, wie sie bei diesen Untersuchungen benutzt wurde, in idealer Weise ausgenutzt wird, da der glühende Kohletiegel sehr intensiv die Umgebung des Gußtrichters, und damit auch den verlorenen Kopf erhitzt, auch dann noch, wenn das Gußstück bereits erstarrt (s. Degussa-Brief Nr. 22). Eine weitere Möglichkeit, die Wirkung des verlorenen Kopfes zunichte zu machen, besteht darin, daß das Schmelzreservoir zu weit vom Gußstück entfernt angesetzt und die Verbindung zu dünn gewählt wird. O. LOEBICH und FALCK-WEIKART geben an, daß der verlorene Kopf möglichst unmittelbar unter dem Gußkegel beginnen und die Verbindung des verlorenen Kopfes zum eigentlichen Gußstück nicht über 0,5 mm lang sein soll. Die Dicke des Verbindungskanals soll über 1,5 mm betragen, und die Gesamtlänge des Gußkanals einschließlich des verlorenen Kopfes soll 7 mm nicht überschreiten.

O. LOEBICH hat ferner durch eine Reihe von Gußversuchen mit verlorenem Kopf steigender Größe festgestellt, daß ein hinreichend befriedigender Guß erst dann erzielt wird, wenn der Verbindungskanal zum Gußkörper nicht über 0,5 mm lang ist, und wenn der verlorene Kopf mindestens 25% des Gußvolumens hat (13). KNAPPWOST (15) fand heraus, daß die spez. Oberfläche des verlorenen Kopfes kleiner sein muß als diejenige des Gußobjektes, denn der Wärmeaustausch verläuft am schnellsten, wenn die Wärmemenge durch eine große Oberfläche austritt (spez. Oberfläche = Quotient der Oberfläche und Gewicht des Körpers, abhängig von der Gestalt).

Gießen wir eine Kugel und eine gleichschwere münzähnliche Scheibe, so tritt bei der Kugel bei gleicher Temperatur der Einbettmasse die beim Erstarren freiwerdende Wärme langsamer aus als durch die größere Oberfläche der Scheibe. Wenn auch die Bestimmung der Oberfläche etwas ungenau ist, so hat man

doch für die zahntechnischen Gußobjekte die einzelnen Durchmesser der verlorenen Köpfe berechnen können, um dichte Güsse zu erreichen (4, 13). Die Größe des verlorenen Kopfes ist also keine Konstante, sondern richtet sich nach der Massigkeit des Gußobjektes.

Anbringung des Gußkanals:

Wie ein unsachlich oder falsch dimensioniert angebrachter verllorener Kopf, so kann auch ein falsch angebrachter Gußkanal zur Lunkerbildung führen. Als Faustregel gilt, daß Gußkanäle so angebracht werden müssen, daß die Schmelze möglichst ohne Änderung ihrer Richtung in den Hohlraum einschießen kann, denn bei einer Richtungsänderung wird die Schmelze abgebremst und gibt zu viel Wärme an die Einbettmasse ab (5). Auch das Anbringen eines zweiten Gußkanals schafft hier keine Abhilfe.

Ferner ist es wichtig, den Gußkanal so anzubringen, daß die Schmelze von den dickeren zu den dünneren Gußteilen fließen kann, denn es erstarrt, wie wir oben gesehen haben, der dünnere Teil des Gußobjektes zuerst, da seine spezifische Oberfläche relativ groß ist. Dann ist ein Nachsaugen aus der Restschmelze auch nicht mehr möglich, und die Lunker treten im dickeren, dem Gußkanal entfernt liegenden Teil auf. Ebenso darf die Verlängerung des Gußkanals auch nicht derart auf vorspringende Teile der Einbettmasse gerichtet sein, daß Absprengungen erfolgen und damit Verfälschungen der Form und Einschlüsse ermöglicht werden.

Wird das Metall im Trichter der Gußmuffel geschmolzen, so soll der Kanal einen Durchmesser von mindestens 1,5 mm aufweisen, um die Strömungen beim Gießen nicht zu stark zu verlangsamen. Aus früheren Untersuchungen von LENSER und ELBRECHT (3) ergab sich auch, daß der Gußkanaldurchmesser nicht größer als 2 mm gewählt werden sollte, da dann das geschmolzene Metall von alleine in den Gußkanal fließt, weil das Gewicht der Schmelze größer ist als der Widerstand der Kohäsion und der durch sie bedingten Kapillardepression. Die Gußkanallänge einschließlich verlorenem Kopf soll 7 mm nicht überschreiten. Es hat sich ferner als vorteilhaft erwiesen, die Wachsform 6-8 mm vom Grund der Muffel entfernt einzubetten, also im unteren Drittel, damit die Luft beim Einschießen der Schmelze einen nicht zu großen Weg durch die Einbettmasse zu überwinden hat. Durch diese Anordnung wird weiterhin bewirkt, daß der verlorene Kopf möglichst im Wärmezentrum der Muffel sitzt und zuletzt erstarrt. Bei den Horizontalschleudern, bei denen der Schmelzvorgang nicht in der Muffel stattfindet, kann der Gußkanal weiter gehalten werden als 1,5 mm, bei nicht zu großen Gußobjekten 2,5 mm im Durchmesser bei einer Länge von 6 mm. In einem dicken Kanal wird die Schmelze weniger

abgebremst, und die Form kann schneller gefüllt werden. Ein verlorener Kopf erübrigt sich dann in den meisten Fällen, da der dicke Gußkanal als Schmelzreservoir dient. Zur Anbringung des Gußkanals gilt das oben gesagte. Es sind also eine Menge Verarbeitungsvorschriften zu beachten, will man lunkerfreie Güsse erzielen. Wird nur eine Größe verändert, und sind die Abweichungen noch so minimal, ist der Erfolg fraglich.

Die wichtigsten praktischen Erfahrungen seien noch einmal aufgezählt: Eine gerichtete Erstarrung und damit Verlegung der Lunker außerhalb des Gußstückes wird erreicht durch eine gleichmäßige Erwärmung der Muffel. Das Schmelzreservoir, der verlorene Kopf, 0,5 mm vom Gußstück entfernt, richtet sich nach der Größe des zu gießenden Objektes und sollte mindestens $\frac{1}{4}$ des Gewichtes des Gußkörpers ausmachen. Der verlorene Kopf liegt im Wärmezentrum, damit er zuletzt erstarren kann. Die Verbindung zwischen Gußstück und verlorenem Kopf hat einen Durchmesser von mindestens 2 mm. Der Gußkanaldurchmesser beträgt zwischen 1,5 und 2 mm für Güsse, bei denen im Trichter geschmolzen wird. Bei Horizontalschleudern ist der Gußkanal dicker, der verlorene Kopf kann wegfallen.

Die folgenden Versuche sollen zeigen, ob verschiedene Materialien und Gußkanalanordnungen unter den oben geforderten Bedingungen verschiedene Resultate liefern und welcher Art sie sind.

II. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

In dieser Arbeit wurden folgende Untersuchungen angestellt und auf Lunkerbefund geprüft:

1. Güsse mit vier verschiedenen Kanaldurchmessern
2. Güsse mit und ohne Luftabzugskanal
3. Güsse mit verschiedenen Einbettmassen.

Für jede Versuchsreihe wurden fünf Güsse hergestellt, so daß zweihundert Versuche zur Auswertung kamen. Hierbei war es von Wichtigkeit, alle Versuche unter den gleichen physikalischen Bedingungen vorzunehmen. Aus diesem Grunde wurde keine Handschleuder verwendet, um keine unkontrollierten Temperaturunterschiede vor und während des Gießens in Kauf zu nehmen. Um Zufallsresultate zu vermeiden, wurde die Degussa-Tiegelschleuder mit elektrischer Beheizung benutzt.

Arbeitsweise der Schleuder:

Im fest montierten Sockel der Schleuder ist eine Feder mit Arretierung eingebaut, die ein Aufziehen der vertikalen Antriebsachse vor dem Schmelzen erlaubt. Die Schleudergeschwindigkeit war bei allen Versuchen konstant, da die Tiegelschleuder durch dreimaliges Drehen des Schleuderarmes im Uhrzeigersinn gespannt wurde. Der Kohletiegel steckt in einer elektrischen Schmelzeinrichtung. Daneben ist ein verstellbarer Metallspiegel derart angebracht, daß das Flüssigwerden des Metalls im Kohletiegel beobachtet und damit eine Überhitzung des Materials ausgeschlossen werden kann. An einem Zeigerinstrument wird die gewünschte Gußtemperatur eingestellt und kontrolliert.

Herstellung der Güsse:

Als Gußobjekte wurden zweihundert modifizierte Brückenzwischenmitglieder in einer Gipschablone hergestellt. Es wurde Gußwachs mit der Bezeichnung "Prepon grün" benutzt. Die vier verschiedenen Gußkanäle von 1,5, 2,0, 2,5 und 3,0 mm Durchmesser wurden senkrecht auf der planen "Kaufläche" angebracht, ohne daß eine Verdickung an der Ansatzstelle auftrat. Als Einbettmassen fanden Verwendung: Gray, Kompens, E 316, Deguest und Duroterm.

Ein exaktes Mischungsverhältnis wurde nach der Anleitung der Hersteller durch Abwiegen der Flüssigkeit und des Pulvers erreicht. Die Muffelhöhe betrug 45 mm. Um den Metalldruck beim Gießen nicht zu verändern, wurde der Gußtrichter durch genormte Gußtrichterschablonen gleichförmig gestaltet. Nach Angaben der Firma Degussa ist es beim Gebrauch der Tiegelschleuder nicht notwendig, bei Kanälen ab 2,5 mm Durchmesser einen verlorenen Kopf anzubringen. Um gleichbleibende Versuchsbedingungen zu erhalten, wurde auch bei kleineren Durchmessern auf den verlorenen Kopf verzichtet. Unter den zu untersuchenden Versuchsreihen waren jeweils zu gleichen Teilen Güsse ohne und mit Luftabzugskanälen. Als Luftabzugskanäle dienten jeweils zwei dünne Wachsdrähte, die am Rande der Gußobjekte und an den Gußtrichterschablonen angewachst waren. Es wurde ferner darauf geachtet, daß das Gußobjekt außerhalb des Wärmezentrums lag. Bei diesen Versuchen betrug der Abstand Gußobjekt - unterster Rand der Muffel 7 mm. Die Muffel wurde in der ganzen Höhe innen durch eine feuchte Asbestschicht ausgekleidet, um der Einbettmasse die Expansion zu erleichtern und damit die Luft beim Einschießen der Schmelze besser entweichen kann.

Nach dem Entfetten des Wachsmodells in Spiritus wurde auf dem Rüttler nach vorherigem Auftragen mit dem Pinsel eingebettet. Nach Festwerden der Ein-

bettmasse, nach etwa 30 Minuten, also noch im feuchten Zustand, wurde das Wachs in einem elektrischen Vorwärmofen mit Temperaturkontrolle bei $250^{\circ} - 300^{\circ} \text{C}$ vorsichtig aus der Muffel ausgetrieben, die Gußmuffel getrocknet und dann 30 Minuten lang auf eine Temperatur von 850°C gebracht. Nach dem Guß wurde die Muffel erst ausgebettet, nachdem sie Zimmertemperatur erreicht hatte.

Von der Firma Degussa wurde Degulor M zur Verfügung gestellt, eine Platin-Gold-Legierung, die ein Schmelzintervall von $970^{\circ} - 900^{\circ} \text{C}$ hat. Für jeden Guß wurden 6 - 9 Gramm, je nach Gußkanaldurchmesser, noch nicht vergossenes, neues Metall genommen, was einem reichlichen Überschuß von 2 bis 3 Gramm entspricht.

Mikroskopische Auswertung:

Unter den zweihundert Güssen befand sich kein einziger Fehlguß. Bei zehn Versuchen waren die Gußkanäle stark geschrumpft und hatten ein bizarres Aussehen. Hiervon waren alle Kanaldurchmesser betroffen. Makroskopisch war bei vielen Güssen ein starker Lunkerbefall rund um den Gußkanalansatz sichtbar, allerdings nicht bei der Einbettmasse "Deguvest". Zur weiteren mikroskopischen Auswertung wurden die Güsse nach Entfernung der Gußstifte an der Ansatzstelle plangeschliffen und mit Hilfe von rotierenden Scheiben, die mit Filz und dann mit einem Wolltuch bespannt werden, auf Hochglanz poliert. Als Poliermittel wurde geschlämmte Tonerde mit verschiedenen Feinheitsgraden verwendet.

Die auf Hochglanz polierten Schliffflächen wurden dann derart in Kunststoff eingebettet, daß ihre planen Ebenen horizontal zur Objektivachse verliefen. Auf diese Weise vorbereitet, konnten die Schliffe mit einem Aufsichtsmikroskop ausgewertet werden.

Hierzu wurde das Werkzeugmeßmikroskop 50/25 der Firma Zeiss verwendet mit einem dreifachen Objektiv und zehnfachem Winkelmeßokular für eine Gesamtvergrößerung von 30 x.

Das Mikroskop war ausgerüstet mit einem Kreuzmeßtisch und einer Einbaubeleuchtung, die über ein Netzanschlußgerät mit Potentiometer reguliert werden konnte; der Meßschlitten hatte in Längsrichtung einen Meßbereich von 50 mm mit einer Ablesung von 0,01 mm, der Kreuzmeßtisch einen Meßbereich von 25 x 25 mm mit einer Ablesung von ebenfalls 0,01 mm. Das Okular enthält zwei Strichplatten: eine drehbare mit Strichkreuz und eine feststehende mit einer in halbe Grade geteilten Winkelskala von -90° bis $+90^{\circ}$. Mittels Dioptrienring ist das Okular in der üblichen Weise auf Fehlsichtigkeit des Be-

obachters einstellbar. Da bei einer dreißigfachen Vergrößerung die polierte Fläche nicht vollständig überschaut werden konnte, wurde sie in vier gleiche Teile durch leichtes Anritzen geteilt. Die Lunkerformen variierten von rund und oval bis bizarr verästelt und waren oft über viele Nebearme und Windungen miteinander verbunden, da nicht jeder Lunker in seiner größten Ausdehnung angeschnitten wird und oft nur Segmente sichtbar werden.

Quantitative Erfassung der Lunker:

Da eine planimetrische Flächenbestimmung nicht möglich war, mußte eine andere Lunkergrößenberechnung gesucht werden. In dem vorliegenden Fall wurde so verfahren, daß der größte Durchmesser eines Lunkers gemessen wurde. Dazu wurde die senkrechte Achse des im Okular sichtbaren Fadenkreuzes mit einem Rand des Lunkers zur Deckung gebracht, durch Drehung der Millimeterschraube wurde der Meßschlitten in gewünschter Richtung verschoben, bis sich die sichtbare Senkrechte mit dem äußeren Punkt am Rand des Lunkers deckte, der diagonal vom Einstellungspunkt entfernt war. An der Millimeterschraube konnte dann die durchgemessene Länge in $1/100$ mm abgelesen werden. Bei einer Gesamtvergrößerung von $30 \times$ war eine Lunkerbestimmung unter $3/100$ mm nicht mehr einwandfrei durchzuführen.

Die Längen der einzelnen Lunker eines ausgewerteten Gusses wurden addiert und die Summe der Lunkerlängen war die Größe, welche bei den statistischen Auswertungen benutzt wurde.

Statistische Methode:

Für die statistische Auswertung entstand das Problem, wie der Lunkerbefall quantitativ erfaßt werden konnte. Ein einfaches Auszählen erfaßt nicht die Größe der einzelnen Lunker, die stark variiert. Eine planimetrische Flächenbestimmung war technisch nicht möglich. Daher wurde in zwei Gruppen eingeteilt:

1. in die sogenannten Mikrolunker, bei denen ein Durchmesser von $3/100 - 9/100$ mm einschließlich gemessen wurde,
2. in die sogenannten Makrolunker von $10/100$ mm und größer, weil man sie schon makroskopisch erkennen konnte.

Nach dieser Unterscheidung von Mikro- und Makrolunkern wurde die Länge der einzelnen Lunker, d.h. deren größter im Mikroskop sichtbarer Durchmesser, bestimmt (siehe oben). Die Summe dieser Lunkerlängen ist das Maß für den Befall. Es wurde eine statistische Prüfung angestellt, ob die festgestellten

Unterschiede im Lunkerbefall bei den einzelnen Gußversuchen bei Vergleichen verschiedener Einbettmassen im Bereich dessen liegen, was man rein zufällig erwarten kann. Angewandt wurde ein sogenanntes nicht parametrisches Verfahren, nämlich der KRUSKAL-WALLIS-Test (16).

Um Zufallsergebnisse bei den Lunkerlängen weitgehend auszuschalten, wurde nicht mit den gefundenen Werten gerechnet, sondern es wurden Ranglisten erstellt (siehe Anhang).

Bei den Ranglisten bekommt der kleinste Meßwert die Zahl 1, der zweitkleinste die Zahl 2, der drittkleinste die Zahl 3 usw. und der größte die höchste Rangzahl. Sind mehrere gleiche Meßwerte vorhanden, erhalten sie den Mittelwert ihrer Rangzahlen. Dann werden in den einzelnen Spalten die Rangsummen gebildet durch Addition. Die Rangwerte werden in folgende Formel eingesetzt:

$$T = \frac{12 \cdot K}{n^2 \cdot (n + 1)} \sum_{i=1}^K R_i^2 - 3 \cdot (n+1)$$

K = Zahl der Gruppen

R_i = Rangsumme in den einzelnen Gruppen

n = Gesamtzahl der Fälle in allen Gruppen

Für den Vergleich von zwei Gruppen wurde der Rangtest nach WILCOXON ausgeführt, bei dem dieselbe Formel benutzt wird. Die Ergebnisse sind statistisch gesichert und damit signifikant, wenn $P \leq 1\%$, statistisch auffällig, wenn $P > 5\%$.

Prüfung hinsichtlich der Lunker:

Bei den vorliegenden Signifikanzprüfungen wurde in allen Fällen ein Merkmal geprüft unter Berücksichtigung der beiden anderen:

1. Unterschiede der Gußkanaldurchmesser hinsichtlich der Lunkermaßzahlen in Gruppenuntersuchungen, die durch die Art der Einbettmassen und das Vorliegen oder Fehlen eines Luftabzugskanals gekennzeichnet waren (Tabelle 1).
2. Es wurde ebenso auf Unterschiede der Güsse in den Lunkerlängen zwischen den vier Gußkanaldurchmessern getestet bei Gruppierungen nach den fünf Einbettmassen mit oder ohne Luftabzugskanal (Tabelle 2).
3. Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse der statistischen Prüfungen auf Vorliegen von Unterschieden bei Versuchsanordnungen mit oder ohne Luftabzugskanal zwischen den Einbettmassen, gruppiert nach den Gußkanaldurchmessern.

4. Untersucht wurde auf Vorliegen von Unterschieden in der Länge der Lunker zwischen den fünf Einbettmassen bei Gruppierungen nach dem Gußkanalmesser (Tabelle 4).

Um die Tabellen etwas verständlicher zu machen, wurden Graphiken erstellt (siehe Graphik 1 - 4), bei denen in einem Koordinatensystem zwei Größen in Abhängigkeit gebracht wurden unter Vernachlässigung einer dritten Größe. Geben uns die Tabellen nur die Art der Signifikanz wieder, so können wir aus den Graphiken ersehen, welche Einbettmassen z.B. besser abschneiden, welche Gußkanaldurchmesser uns günstigere Werte liefern oder ob es Anzeichen dafür gibt, daß die Güsse bei Anordnung mit Luftabzugskanal denen ohne Luftabzugskanal vorzuziehen sind.

In der Tabelle 1 sind die Ergebnisse abzulesen, die sich nach den statistischen Prüfungen auf Vorliegen von Unterschieden in den Lunkersummen zwischen den vier Gußkanaldurchmessern ergeben haben. Signifikanz bedeutet einen statistisch gesicherten Unterschied in den Werten, besagt aber nicht, welche Gruppe dabei gut oder schlecht abschneidet. Nehmen wir die Einbettmasse E_1 , so kann man ablesen, daß bei den Güssen ohne Luftabzugskanal die Werte in Bezug auf Mikrolunker signifikant sind, d.h., daß es unterschiedliche Werte bei den verschiedenen Kanaldurchmessern gibt, bei den Güssen mit Luftabzugskanal dagegen nicht. Dieses Ergebnis überrascht keineswegs, ist doch bekannt, daß Luftabzugskanäle die Ergebnisse durch schnelleres Füllen der Form verbessern. Es kann der Tabelle aber nicht entnommen werden, ob die Ergebnisse gleich gut oder gleich schlecht sind, also welcher der Güsse ohne Luftabzugskanal die wenigsten Lunker aufweist. Die Tabelle überrascht aber insofern, als keine Regelmäßigkeit zu erkennen ist, denn es gibt Einbettmassen, z.B. E_2 , bei denen sowohl bei Anordnung ohne Luftabzugskanal als auch mit Entlüftung eine Signifikanz besteht, bei E_4 hingegen ist eine Signifikanz bei Anwesenheit oder Fehlen von Luftabzugskanälen in allen drei Spalten nicht nachzuweisen.

Signifikanzen bestehen bei allen Prüfungen von G_1 gegen die übrigen Gußkanaldurchmesser (Tabelle 2), sowohl bei den verschiedenen Einbettmassen als auch beim Vorliegen oder Fehlen eines Luftabzugskanales.

In der Tabelle 3 erscheinen die Ergebnisse der statistischen Prüfungen auf Vorliegen von Unterschieden bei Versuchsanordnungen mit oder ohne Luftabzugskanal zwischen den Einbettmassen gruppiert nach den Gußkanaldurchmessern. Es sollte hier also untersucht werden, ob bei den einzelnen Gußkanälen ein Luftabzugskanal die Lunkierzahl vermindern kann, oder ob der Einfluß so gering ist, daß bei den statistischen Untersuchungen keine Signifikanzen vorliegen. Die Tabelle 3 gibt uns ähnlich unterschiedliche Ergebnisse wie Tabelle 1,

es ist aber auffällig, daß bei den Einbettmassen keine generelle Verbesserung der Ergebnisse durch Luftabzugskanäle erzielt wird. Es scheint also so zu sein, daß eine Regelmäßigkeit fehlt und die Ergebnisse rein zufällig sind. Zu einer weiteren Klärung werden unten noch die Graphiken ausgewertet. Bei E_2 beispielsweise sind in der Spalte Makrolunker die Signifikanzprüfungen alle negativ, da, wie aus den Anhangstabellen zu entnehmen, bei dieser Einbettmasse praktisch keine Makrolunker nachweisbar waren. Bei E_4 ist in der Spalte Mikrolunker eine Signifikanz ebensowenig sichtbar, aber im Gegensatz zu E_2 ist hier die Lunkernzahl so hoch, daß bei den verschiedenen Gußkanaldurchmessern die Lunkermaßzahlen kaum Unterschiede aufweisen.

Einheitlicher sind die Ergebnisse der Tabelle 4, die die Resultate der statistischen Prüfungen auf Vorliegen von Unterschieden in der Länge der Lunker zwischen den fünf Einbettmassen wiedergibt. Zwischen den einzelnen Einbettmassen bestehen unterschiedliche Lunkermaßzahlen, gleichgültig, bei welchem Gußkanaldurchmesser und ob mit oder ohne Luftabzugskanal gegossen wurde. Es haben also nicht nur die Luftabzugskanäle und Gußkanaldurchmesser Einfluß auf die Lunkerigkeit eines Gußobjektes, sondern auch die Einbettmassen beeinflussen die Ergebnisse, in welcher Richtung, ist unten aus den Graphiken zu entnehmen.

Die Graphiken entsprechen nicht den einzelnen Tabellen, da zur besseren Übersicht nur 2 Größen dargestellt wurden unter Vernachlässigung einer dritten. In der Graphik 1 sind die Lunkersummen von Güssen mit oder ohne Luftabzugskanälen bei den einzelnen Einbettmassen eingetragen, wobei die Verschiedenheit der Gußkanaldurchmesser nicht berücksichtigt wurde. Signifikant war das statistische Ergebnis auch bei den einzelnen Gußkanälen. Hier fällt auf, daß beim Anbringen eines Luftabzugskanales bei vier Einbettmassen die Ergebnisse wesentlich günstiger ausfallen, bei der Einbettmasse "Deguest" dagegen schlechter. Es ist aber zu erwähnen, daß die Lunkermaßzahlen nicht höher sind als bei den übrigen ohne Luftabzugskanal, der höchste Wert ungefähr dem niedrigsten von "Gray" ohne Luftabzugskanal entspricht.

In den Graphiken 2 und 3 sind die Lunkersummen in Gruppen nach Gußkanaldurchmesser und Einbettmasse dargestellt, ohne Berücksichtigung eines Vorhandenseins oder Fehlens eines Luftabzugskanals. Die unterschiedlichen Streuungen sind weniger bei den einzelnen Gußkanälen als bei den Einbettmassen bemerkenswert.

Offensichtlich ist vor allen Dingen das gute Abschneiden von "Deguest" bei allen Gußkanälen. Makrolunker wurden praktisch keine im Meßmikroskop ausgezählt, die Zahl der Mikrolunker (siehe Anhangtabelle) war so gering, daß

Tabelle 1: Ergebnisse der statistischen Prüfungen auf Vorliegen von Unterschieden in den Lunkerlängen zwischen den vier Gußkanaldurchmessern bei Gruppierungen nach den fünf Einbettmassen mit und ohne Steiger. x)

Gruppierung nach Einbettmasse und Steiger	Mikrolunker		Makrolunker		Mikrol. + Makrol.	
	x ²	Signifikanz xx)	x ²	Signifikanz xx)	x ²	Signifikanz xx)
xxx) ohne Steiger x) E ₁ mit Steiger x)	12,97 3,80	+ -	10,16 5,16	(+) (+)	9,80 6,03	(+) -
xxx) ohne Steiger x) E ₂ mit Steiger x)	14,26 13,16	+ +	8,84 3,57	(+) -	14,30 9,80	+ (+)
xxx) ohne Steiger x) E ₃ mit Steiger x)	3,37 14,87	- +	13,76 7,50	+ -	11,65 12,13	+ +
xxx) ohne Steiger x) E ₄ mit Steiger x)	1,68 5,78	- -	5,78 7,74	- -	4,80 7,34	- -
xxx) ohne Steiger x) E ₅ mit Steiger x)	3,46 9,64	- (+)	12,42 16,09	+ +	6,61 12,85	- +

x) Steiger=Luftabzugs-Kanal

xx) + stat. gesichert (P ≤ 1%)

xxx) E₁ = Kompens

E₂ = Deguest

E₃ = Gray

E₄ = Duroterm

E₅ = E 316

(+) stat. auffällig (1% < P ≤ 5%)

- nicht signifikant (P > 5%)

Tabelle 2: Beziehungen zwischen den Gußkanaldurchmessern bei den verschiedenen Einbettmassen gegliedert nach Güssen mit und ohne Steiger x) (Mikrol. + Makrol.)

Unterschiede zwischen den Gußkanaldurchmessern	E ₁ xxx)		E ₂ xxx)		E ₃ xxx)		E ₄ xxx)		E ₅ xxx)	
	x) S +	x) S -	x) S +	x) S -	x) S +	x) S -	x) S +	x) S -	x) S +	x) S -
	x ² Sign. xx)	x ² Sign. xx)	x ² Sign. xx)	x ² Sign. xx)	x ² Sign. xx)	x ² Sign. xx)	x ² Sign. xx)	x ² Sign. xx)	x ² Sign. xx)	x ² Sign. xx)
G ₁ - G ₂ xxxx)	108,70+	64,01 +	67,38+	44,98+	46,05+	166,70+	88,43+	139,93+	132,89+	102,61+
G ₁ - G ₃ xxxx)	131,64+	95,90 +	88,93+	127,41+	151,21+	159,39+	177,37+	51,45+	110,99+	46,70+
G ₁ - G ₄ xxxx)	125,09+	37,39 +	134,61+	33,54+	30,35+	161,15+	66,45+	49,51+	119,21+	173,60+

xx)

+ (P ≤ 1%) stat. gesichert

(+) (1% < P ≤ 5%) stat. auffällig

- (P > 5%) stat. nicht signifikant

xxx)

E₁ = Kompens

E₂ = Deguvest

E₃ = Gray

E₄ = E 316

E₅ = Duroterm

xxxx)

G₁ = 1,5 mm

G₂ = 2,0 mm

G₃ = 2,5 mm

G₄ = 3,0 mm

x)

S - = ohne Steiger = Luftabzugskanal

S + = mit Steiger = Luftabzugskanal

Tabelle 3: Ergebnisse der statistischen Prüfungen auf Vorliegen von Unterschieden bei Versuchsanordnungen mit und ohne Steiger x) zwischen den Einbettmassen gruppiert nach den Gußkanaldurchmessern

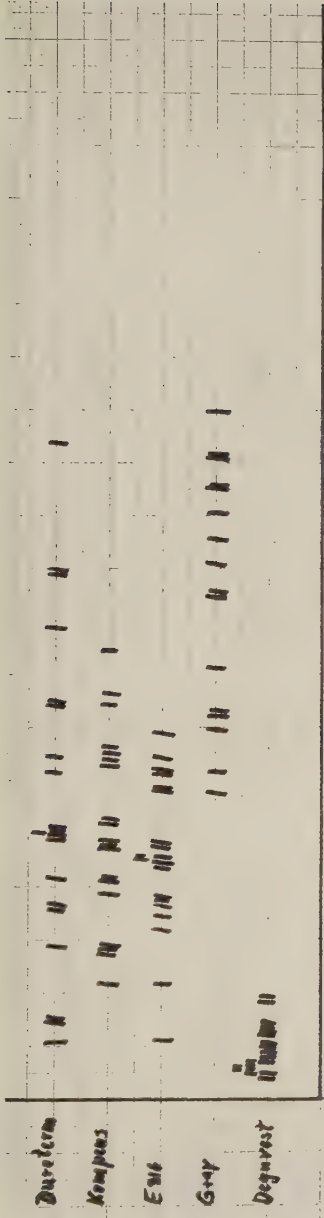
Gruppiert nach Einbettmasse u. Gußkanaldurchmesser	Mikrolunker		Makrolunker		Mikrol.+Makrol.		x) Steiger=Luftabzugskanal xx) + stat.gesichert (P ≤ 1%) (+) stat.auffällig (1% < P ≤ 5%) - nicht signif. (P > 5%) xxx) E ₁ = Kompens E ₂ = Deguvest E ₃ = Gray E ₄ = Duroterm E ₅ = E 316
	x ²	Signifikanz xx)	x ²	Signifikanz xx)	x ²	Signifikanz xx)	
E ₁ xxx) G ₁ G ₂ G ₃ G ₄	1,81	-	0,25	-	- 0,02	-	+ stat.gesichert (P ≤ 1%) (+) stat.auffällig (1% < P ≤ 5%) - nicht signif. (P > 5%)
	3,91	(+)	6,79	+	6,79	+	
	1,81	-	6,79	+	6,79	+	
	1,81	-	3,91	(+)	4,78	(+)	
E ₂ xxx) G ₁ G ₂ G ₃ G ₄	0,25	-	0,25	-	- 0,02	-	+ stat.gesichert (P ≤ 1%) (+) stat.auffällig (1% < P ≤ 5%) - nicht signif. (P > 5%)
	6,79	+	3,12	-	6,79	+	
	6,79	+	0,25	-	5,74	(+)	
	0,25	-	0,36	-	- 0,02	-	
E ₃ xxx) G ₁ G ₂ G ₃ G ₄	5,74	(+)	6,79	+	6,79	+	xxx) E ₁ = Kompens E ₂ = Deguvest E ₃ = Gray E ₄ = Duroterm E ₅ = E 316
	6,79	+	6,79	+	6,79	+	
	0,07	-	1,30	-	1,81	-	
	6,79	+	4,78	(+)	4,78	(+)	
E ₄ xxx) G ₁ G ₂ G ₃ G ₄	0,86	-	0,51	-	0,86	-	xxx) E ₁ = Kompens E ₂ = Deguvest E ₃ = Gray E ₄ = Duroterm E ₅ = E 316
	1,81	-	6,79	+	6,79	+	
	0,67	-	- 0,02	-	0,07	-	
	- 0,02	-	6,79	+	6,79	+	
E ₅ xxx) G ₁ G ₂ G ₃ G ₄	1,29	-	1,29	-	1,29	-	xxx) E ₁ = Kompens E ₂ = Deguvest E ₃ = Gray E ₄ = Duroterm E ₅ = E 316
	- 0,02	-	1,81	-	3,12	-	
	3,91	(+)	6,79	+	5,74	(+)	
	5,74	(+)	6,79	+	6,79	+	

Tabelle 4: Ergebnisse der statistischen Prüfungen auf Vorliegen von Unterschieden in der Länge der Lunker zwischen den fünf Einbettmassen bei Gruppierungen nach dem Gußkanal-durchmesser

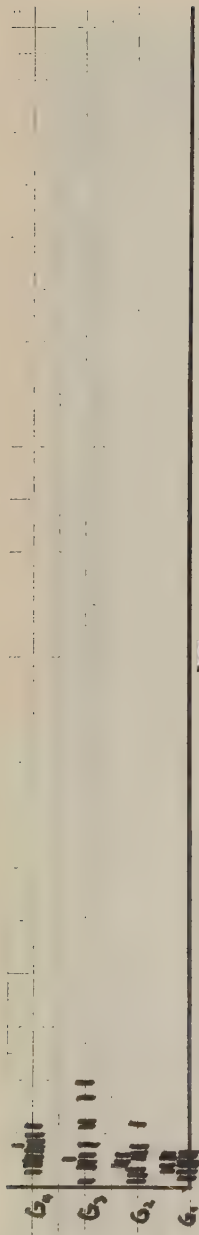
Gruppierung nach Gußkanaldurchmesser und Steiger x)	Mikrolunker		Makrolunker		Mikrol. + Makrol.	
	x ²	Signifikanz ^{xx)}	x ²	Signifikanz ^{xx)}	x ²	Signifikanz ^{xx)}
xxx) G ₁ ohne Steiger x) mit Steiger x)	21, 69 17, 34	+ +	19, 08 16, 24	+ +	19, 13 12, 96	+ +
xxx) G ₂ ohne Steiger x) mit Steiger x)	15, 01 12, 85	+ +	16, 35 14, 76	+ +	18, 91 15, 14	+ +
xxx) G ₃ ohne Steiger x) mit Steiger x)	14, 24 18, 36	+ +	15, 49 17, 32	+ +	14, 24 20, 63	+ +
xxx) G ₄ ohne Steiger x) mit Steiger x)	16, 47 11, 82	+ +	12, 36 13, 25	+ +	15, 49 10, 11	+ +

Steiger-Luftabzugskanal

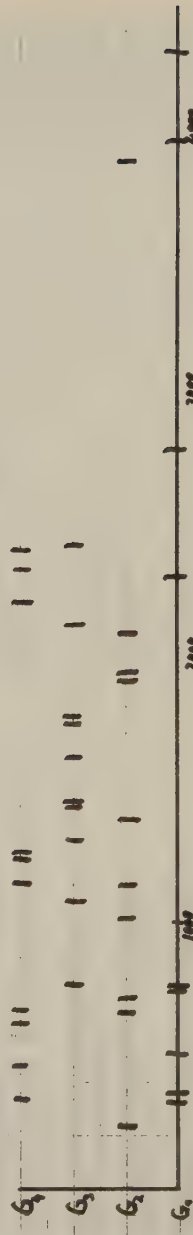
x) stat. gesichert ($P \leq 1\%$) (+) stat. auffällig ($1\% < P \leq 5\%$) - nicht signifikant ($P > 5\%$)
 xx)
 xxx) $G_1 = 1,5$ mm
 $G_2 = 2,0$ mm
 $G_3 = 2,5$ mm
 $G_4 = 3,0$ mm



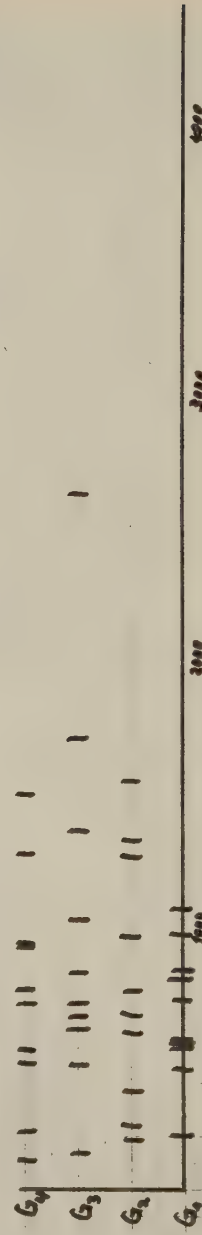
Graphik 1: Lunkersummen in Gruppe nach Einheitsmassen mit und ohne Säger



2000 3000 4000
 Lunkersummen bei Degurist



2000 3000 4000
 Lunkersummen bei Gray

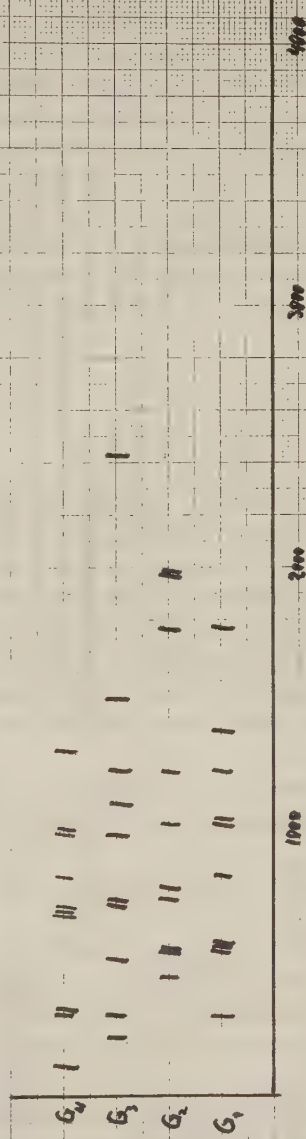


2000 3000 4000
 Lunkersummen bei Hopkins

Graphik 2. Lunkersummen in Gruppen nach Gupkaval durchmesser und Einbettmassen

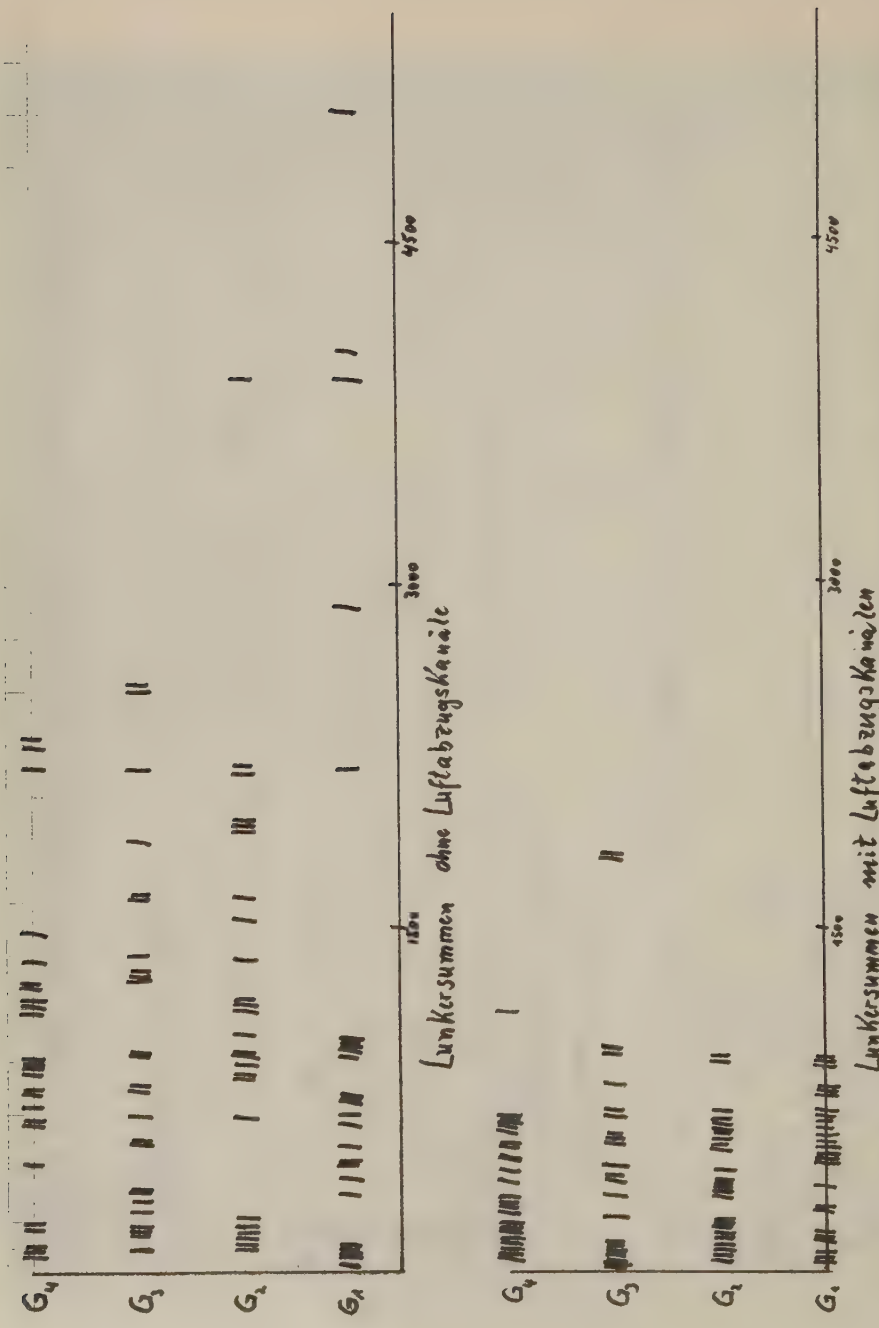


Linkssummen bei E 316



Linkssummen bei Durotem

Graphik 3: Linkssummen in Gruppen nach Fußstanzdurchmesser und Einbaulängen



Graphik 4: Luftersummen in Gruppen nach Gießkanal durchmesser mit und ohne Luftabzugskanal.

sie die mechanischen Eigenschaften eines Gußstückes kaum negativ beeinflussen können. Die Streuungen sind bei den übrigen Einbettmassen zum Teil recht erheblich ("Gray").

Vernachlässigt man die Einbettmassen und untersucht die Güsse mit verschiedenen Kanaldurchmessern mit und ohne Luftabzugskanal (Graphik 4), so ist auf den ersten Blick auffallend, daß bei Anordnung mit Entlüftungskanal die Ergebnisse insgesamt besser sind und eine Streuung zwischen den Gußkanälen hinsichtlich der Lunkermaßzahlen gering ist. Beim Gießen mit der Horizontal-schleuder von Degussa scheint es nicht so von Wichtigkeit zu sein, welchen Durchmesser die Gußkanäle aufweisen, da die Form durch starke Horizontal-kraft schnell gefüllt wird. Das Anbringen von Entlüftungskanälen ist, was die für diese Untersuchungen benutzte Schleuder anbetrifft, dringend anzuraten, da dadurch das massive Auftreten von Lunkern auf ein erträglicheres Maß vermindert wird.

ZUSAMMENFASSUNG

Untersucht wurde der Lunkerbefall bei Verwendung von vier verschiedenen Gußkanaldurchmessern und bei Versuchsanordnungen mit oder ohne Entlüftungskanal.

Untersucht wurde ferner das Vorliegen von Unterschieden bei Güssen mit fünf verschiedenen Einbettmassen. Da eine planimetrische Lunkerflächenbestimmung nicht möglich war, wurde der größte Durchmesser eines Lunkers gemessen. Die Summe der Lunkerlängen war das Maß für den Lunkerbefall. Signifikanzprüfungen wurden vorgenommen bei jeweils zwei Merkmalen unter Vernachlässigung eines dritten.

Die statistischen Prüfungen ergaben, daß Signifikanzen bei den verschiedenen Einbettmassen bestehen, und zwar bei den einzelnen Gußkanaldurchmessern sowohl ohne als auch mit Entlüftungskanal.

Bei Prüfung eines Gußkanaldurchmessers gegen die übrigen waren alle Ergebnisse signifikant.

Beim Test auf Unterschiede bei Versuchsanordnungen mit oder ohne Entlüftungskanal fielen die Signifikanzprüfungen unterschiedlich aus. Die Graphiken lassen erkennen, daß, bis auf "Deguvest", die Güsse aller Einbettmassen mit Entlüftungskanal weniger Lunker aufweisen. "Deguvest" schneidet am weitaus besten mit der niedrigsten Lunkermaßzahl ab.

Eklatant ist das Verhältnis bei den Gußkanälen bei Anordnung mit oder ohne Entlüftungskanal unter Vernachlässigung der Einbettmassen. Hier zeigt sich die generelle Verbesserung der Ergebnisse in allen Gruppen bei Anordnung mit Entlüftungskanal.

TABELLEN - ANHANG

Im Tabellen-Anhang werden folgende Abkürzungen verwendet:

$G_1 = 1,5 \text{ mm}$

$G_2 = 2,0 \text{ mm}$

$G_3 = 2,5 \text{ mm}$

$G_4 = 3,0 \text{ mm}$

$E_1 = \text{Kompens}$

$E_2 = \text{Deguvest}$

$E_3 = \text{Gray}$

$E_4 = \text{Duroterm}$

$E_5 = \text{E 316}$

S - = ohne Steiger (Luftabzugskanal)

S + = mit Steiger

Tabelle 5: Einzelmessungen bei E₁ ohne Steiger sind in folgender Tabelle dargestellt

	Anzahl der Lunker in 1/100 mm																			
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
1	3	2	4	5	3	2	2	4	7	6	2	3	1	4	3	2	2	3	24	130
2	5	4	2	6	3	3	4	1	3	2	2	3	1	2					110	
G ₁ 3	6	5	5	3	3	2	4	2	2	4	2	6	2	4					90	38
4	3	4	5	4	2	3	2	3	2	4	1	2	3					25	93	74
5	8	3	7	4	5	2	3	7	4	3	2	4	3	2	2	3	4	3	240	29 27 24 37
1	5	4	2	4	7	5	7	7	10	9	4	4	6	3	4	6		2	54	115 29 135 65 61 52 67
2	5	2	3	7	5	4	2	6	4	3	2	3	1	4	2	1	2	1	158	27
G ₂ 3	9	3	11	8	2	6	5	7	4	2	3	8	2	6	3	4	2	3	54	47 63 36 98 72
4	7	5	4	3	2	6	5	3	4	3	1	2	3	7	6	3	2	4	180	57 87 67 83 60
5	3	4	5	3	7	3	5	4	1	2	3	4	2	1	3	2		1	47	305 94
1	4	10	11	18	7	6	9	8	11	12	6	7	3	8	2	6	4	3	183	82 56 265 99 86 88 76 77 73 51 97
2	7	14	2	8	3	6	4	5	8	3	7	1	2	6	3	4	1	2	93	188 76 83 112
G ₃ 3	6	2	3	5	8	11	16	7	8	2	4	5	6	8	3	2	1	1	195	86 97 144 114
4	5	9	7	5	2	6	1	2	3	4	5	1	2	6	1	4	2	1	28	137 30
5	4	2	3	8	1	6	1	1	2	6	3	8	7	1	4	3	2	6	123	47 43
1	31	21	15	10	26	11	8	2	2	3	4	5	2	4	2	1			27	35 61 56 56 27
2	12	11	9	8	7	2	3	2	4	5	3	1	2	1					25	27
G ₄ 3	9	8	7	4	2	6	5	3	4	2	4	4	6	7	2				164	64 27
4	5	4	3	7	5	5	4	2	6	3	1	2	4	2	3	1	2	2	25	27 48 215
5	3	5	4	2	3	7	4	3	5	3	2	6	4	2	3	1	2	1	185	110 83 149 51 161 162 79

Tabelle 9: Einzelmessungen bei E₃ ohne Steiger sind in folgender Tabelle dargestellt

	Anzahl der Lunken in 1/100 mm																		
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
G ₁	1	20	24	24	20	30	20	5	5	22	6	10	8	7	12	10	10	22	27 27 44 244 44 100 60 128 110 115
	2	18	16	33	18	17	9	8	2	11	17	9	4	20	22	8	9	7	4 210 73 60 41 75
	3	27	5	12	11	4	11	9	3	19	21	8	5	10	11	2	8	6	3 235 105 35 55 35 25 34
	4	50	32	62	38	12	40	13	11	30	20	15	18	22	13	18	14	5	11 80 48 48 48 487046 23 99 27 27 27 27
	5	64	38	66	70	38	38	22	28	24	18	22	20	28	24	20	14	2	12 22 84 120 62 96
G ₂	1	12	8	4	21	16	11	9	6	2	18	7	4	1	3	2	6	5	44 70 31
	2	30	28	35	32	20	12	15	7	5	11	17	8	2	1	3	4	5	2 175 55 32
	3	20	18	12	33	24	12	21	6	4	17	12	15	21	30	12	19	21	8 210 60 32 25 5438 38
	4	24	32	40	38	20	20	11	15	3	2	1	5	4	3	4	5	3	100 55 45
	5	32	34	46	36	18	22	6	10	6	4	4	10	2	6	2	2	2	2 21 46 100 50
G ₃	1	48	50	44	24	24	26	10	2	3	3	1	1	3					21 48
	2	42	38	20	24	18	25	13	12	5	4	3	3	1	2	2	1		22 38
	3	41	45	38	32	12	28	2	5		2	1	4		5	2	4		205 105 46 48 21 29 112 60 73 73
	4	32	12	18	22	11	5	3	16	2	3	4		9	3	2	1		96 73 54 78 36 26 23 90 4229 29 29
	5	41	38	44	12	21	13	6	9	1	4	3	2		3	2	1		56 50 28 30 38 31 13588 46
G ₄	1	62	52	58	28	38	20	4	2	2	10	20	2		6	2			44 46 48 5468
	2	66	48	30	40	30	32	22	10	10	12	2		4	2	4	2	4	44 26 124 33 33
	3	44	38	36	22	14	8	10	22	12	8	6	6	4	6	4	4	4	92 145 43 50 95
	4	58	33	22	10	11	5	2	5	2	1	4		4	5	2	4		
	5	55	48	13	21	15	18	5	3	4	3	2	3	1	2	1			84

Tabelle 11: Einzelmessungen bei E₄ ohne Steiger sind in folgender Tabelle dargestellt

		Anzahl der Lunker in 1/100 mm																		
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
G ₁	1	7	5	4	3	1	2	4	3	2	3	1	1	2				1		
	2	5	8	9	7	6	5	4	2	3	1	2	2	2	2			1		21 39 26 29
	3	7	9	8	7	5	3	4	3	7	4	5	3	4	3			2		183 45 23 21 30 27 60 22
	4	3	8	7	9	4	5	8	6	3	4	3	5	2	3	4	1	2	3	29 68 30 28 28 30 31
	5	8	6	7	8	6	9	5	3	7	8	6	4	3	5			2	3	2 37 76 45 28 26 43 22 48 24
G ₂	1	7	8	9	7	4	5	6	7	8	5	3	6	5	3	4	3	2	2	130 25 136 230 49 90 74 35 93
	2	3	4	5	6	3	4	2	7	3	8	5	4	3	7	6	5	4	2	45 64 109 75 94 93 144 26
	3	5	3	8	6	7	2	6	3	4	5	4	3	2	4	2	3	2	1	134 58 91 111 58 72 72 52264
	4	4	3	6	8	5	7	2	3	5	4	2	3	1	4	3	1	2	1	1 59 145 97 75 56 73 83 36
	5	16	10	9	3	12	7	8	11	8	9	7	2	3	6	5	3	2	3	1 76 52 66 58 71 59 64 70 73 64 116
G ₃	1	12	10	5	3	2	2	2	1	1	1									
	2	11	9	7	5	3	4	2	1	2	3	1	1							
	3	8	7	5	6	7	8	9	7	5	3	4	3	4	5	3	2		1	1 105 73 105 82 81 189 59 63 26
	4	6	7	5	4	6	5	3	2	4	2	3	1	22		2	1	1		180 77 45
	5	9	11	13	19	11	7	3	5	6	4	9	8	7	5	6	5	4	2	51 53 62 37 54 60 57 81 66 56
																				/ 66 47 296 124
G ₄	1	4	5	6	7	5	4	6	5	3	2	4	2	3	1	2	3		2	44 51 45 73 53 99
	2	5	6	4	9	3	8	6	55	2	4	3	4	3	2	1	1	1	1	49 45 48 86
	3	5	3	2	4	2	7	5	4	6	2	4	1	2	3	2	1	2	1	61 141 56
	4	9	7	5	8	7	3	1	2	3	2	4	1	2	1	1	1	2	1	98 148 49 108 105 91 225 81 77 37
	5	3	2	6	1	3	22	1	1	3	1	2	1	4	1	2	1	1		63 60 63 91 90 78b 54 78 85 57

Tabelle 12: Einzelmessungen bei E₄ mit Steiger sind in folgender Tabelle dargestellt

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	Anzahl der Lunker in 1/100 mm																		
G ₁	1	12	6	15	14	7	10	3	4	2	2	1	1	1	1				22
	2	14	8	12	5	7	8	5	7	4		3	2	1	1			1	
	3	9	4	6	7	5	3	6	8	9	4	1	2		3		1	1	
	4	21	14	11	9	8	10	13	11	5	7	2	1		2	1			
	5	5	9	8	4	6	3	7	5	4	6	3	1	4	3	2	2	3	2
G ₂	1	5	4	6	5	3	8	7	4	6	5	3	2	2				1	
	2	4	6	3	7	4	6	3	5	3	2	1	4	2	3	2		1	22
	3	3	3	5	4	3	5	3	2	1	4	2	1	3		2	1	2	24 34 235
	4	6	6	4	4	3	2	5	2	4	2	3	2	1	1		2	1	1
	5	6	7	5	3	2	1	3	4	1	2	3	2	1	2	1	2	3	2
G ₃	1	8	5	5	12	13	12	8	6	4	5	4		1	1	1	3		
	2	7	3	9	7	6	2	3	4	5	2	3	1	2	1	1	1		50 25
	3	5	2	6	7	5	2	3	4	1	3	2	1	2	3	1	2		79 66 123 64 95 78 58
	4	6	9	8	7	4	2	1	3	6	5	1	4	3	2	1	1	3	2
	5	9	6	5	2	3	7	4	5	4	2	6	3	4	2	1	3	4	2
G ₄	1	5	5	4	6	3	5	3	2		1								
	2	4	2	4	3	1	2	1							1				
	3	13	17	8	11	12	19	9	8	6	1								
	4	6	8	9	7	7	5	3	2	3	4	1	2	3	2				21 23 25 23 45 53 21
	5	5	7	4	2	3	5	4	2	1		3	2	1			1		21 23 25 23 45

Tabelle 13: Einzelmessungen bei E_5 ohne Steiger sind in folgender Tabelle dargestellt

	Anzahl der Lunker in 1/100 mm																		
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
G_1	1	3	6	2	3	5	8	6	2	4				2	2	2	1	295 38 135 205 52	
	2	5		3			4		6	4		4		8	2	4	2	58 53 54 21	
	3	2	1	6	2		4	7		2	1		2			2	4	174 94 35 66 83	
	4	7	2	6	3	1	8	3	2	5	2		2		2	2		49 57 55 163 88 91	
	5	5	4	6	3	2	1	3	2	6	4			3	2	2	2	95 192 61 71	
G_2	1		2	14	9	3	2	3	1	1	1	1							
	2	20	12	14	22	16	18	10	2	4	4	1	2	2		1		55 125 69 44	
	3	6	7	13	6	8	9	2	1	2		2	3	1	7	2	3	106 176	
	4			6	2		1	3	4	5	9	1	7	6	8	2	6	47	
	5			1	4	2	3	1	6	2	1	3	2	2	3	4	2	94 96 49 59 108 195 133	
G_3	1	18	13	16	36	9	4	7	10	3	3	2	4	2		2	1	96 65 44	
	2	12	15	8	6	7	7	6	4		3		1	2			2	82 81 35	
	3	15	6	8	23	3	6	4		7	11							69	
	4	12	11	11	11	2	2	3					2					49 62 27	
	5	21	17	7	18	5	10	9	1	2	2	8	11		3		2		
G_4	1		1	3	8	2	6	5	4	6	2	1	3	5	4	1	2	3	82 10588 85 74 86 56 56 43 26
	2	4	2	6	7	3	2	8	6	3	7	4	8	11	7	18	6	3	
	3	4	3	1	2	4	3	6	1	4	5	3	4	5	6	3	4	2	77 78 62
	4	5	1	6	2	3	1	4	2	3	6	7	4	2	6	3	4	2	24
	5	3	1	1	2	3	2	6	4	1	2	5	3	1	4	2	1	3	53 47 48 85 65 65

Tabelle 14: Einzelmessungen bei E_5 mit Steiger sind in folgender Tabelle dargestellt

	Anzahl der Lunker in 1/100 mm																			
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
G_1	1	3	7	9	7	3	5	2	2	1	5	3	1	3	2	2	1		58	91
	2		3	3	1	4	3		2		1	2	2	3	1	1	2		73	69
	3	5	2	1	2	4		3		6			3	2		1			285	109
	4	3		2	1	5	4		1	2	3	1	2	1		3			150	
	5	3	3		3	2		2	2				1	2	1	3			247	96
G_2	1	16	12	16	18	8	4	1		2	1			1	2		1			
	2		2		1	2			2	2		1								
	3	6	14	9	16	3	4	2	2		1	2				1				
	4	11	12	8	6	2	1	1		2		3	2			1			90	
	5	6	3			2	4	4	5	5	3	5	1	1	2	2	1	1	4692	73
G_3	1	25	16	5	10	3		2	4	1	1									
	2	12	24	11	8	8	4	1		2				1					53	31
	3	8	7	9			7	2	6	2	2									
	4	6	3	5	2	4	1	3	2	1	2									
	5	7	2	8	1	3	3	2					2			1				
G_4	1	8	9	3	4	9	12	9		4	2	1	5		1		3		22	35
	2	3	1	2	3	5	18	1		2			4		3				26	
	3	7	8	7	9	5	2	8	3		4		1	1		3	2		31	42
	4	6	8	7	6	4	2	3		6		2	1	6		7			32	
	5	4	11	8	4	3	6	3		2		3	8		3		5		75	

Tabelle 15: Vergleich der Mikrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Gußkanaldurch-
messern bei "Deguvest" ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	G ₁	R	G ₂	R	G ₃	R	G ₄	R
$\sum_1$	113	10	108	9	306	19	152	15
$\sum_2$	40	1	118	11	197	17	77	6
$\sum_3$	71	4	73	5	225	18	50	2
$\sum_4$	100	8	193	16	115	12	213	14
$\sum_5$	60	3	89	7	367	20	127	13
$\sum$		26		48		86		50
$\sum_1$	46	5	26	1,5	85	14	84	13
$\sum_2$	63	7,5	26	1,5	57	6	149	18
$\sum_3$	101	16	72	3	30	3	76	11
$\sum_4$	118	17	45	4	95	15	192	20
$\sum_5$	73	10	63	7,5	77	12	154	19
$\sum$		55,5		23,5		50		81

Tabelle 16: Vergleich der Makrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Gußkanaldurchmessern bei "Deguvest" ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	G ₁	R	G ₂	R	G ₃	R	G ₄	R
$\sum_1$	0	3,5	0	3,5	30	16	0	3,5
$\sum_2$	0	3,5	33	18	25	12	30	16
$\sum_3$	10	8,5	40	19	10	8,5	0	3,5
$\sum_4$	10	8,5	42	20	10	8,5	11	11
$\sum_5$	14	26	26	13	30	16	0	3,5
$\sum$		38		73,5		61		37,5
$\sum_1$	10	13	20	16	75	20	11	14
$\sum_2$	0	6,5	0	6,5	39	19	0	6,5
$\sum_3$	20	16	20	16	0	6,5	0	6,5
$\sum_4$	0	6,5	0	6,5	0	6,5	0	6,5
$\sum_5$	0	6,5	20	16	0	6,5	0	6,5
$\sum$		48,5		61		58,5		40

Tabelle 17: Vergleich der Mikro- und Makrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Gußkanaldurchmessern bei "Deguvest" ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	G ₁	R	G ₂	R	G ₃	R	G ₄	R
$\sum_1$	113	8,5	108	6	336	19	152	14
$\sum_2$	40	1	151	13	222	15	107	5
$\sum_3$	81	3	113	8,5	235	17,5	50	2
$\sum_4$	110	7	235	17,5	125	11	224	16
$\sum_5$	87	4	115	10	397	20	127	12
$\sum$		23,5		55		82,5		50
$\sum_1$	56	5	46	4	160	19	97	12,5
$\sum_2$	63	6	26	1	96	14	149	17
$\sum_3$	121	16	92	11	30	2	76	8
$\sum_4$	118	15	45	3	95	12,5	192	20
$\sum_5$	73	7	83	10	77	9	154	18
$\sum$		49		29		56,5		75,5

Tabelle 18: Vergleich der Mikrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Gußkanaldurchmessern bei "E 316" ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	G_1	R	G_2	R	G_3	R	G_4	R
$\Sigma 1$	214	13	172	10	561	19	163	9
$\Sigma 2$	62	1	656	20	331	16	201	12
$\Sigma 3$	147	7,5	293	15	352	17	147	7,5
$\Sigma 4$	185	11	77	3	258	14	126	5
$\Sigma 5$	128	6	76	2	470	18	121	4
Σ		38,5		50		84		37,5
$\Sigma 1$	203	12	381	20	263	15	270	16
$\Sigma 2$	85	3	33	1	332	19	229	14
$\Sigma 3$	95	5	286	18	171	9	285	17
$\Sigma 4$	92	4	188	10	130	7	192	11
$\Sigma 5$	56	2	112	6	138	8	216	13
Σ		26		55		58		71

Tabelle 19: Vergleich der Makrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Gußkanaldurch-
messern bei "E 316" ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	G ₁	R	G ₂	R	G ₃	R	G ₄	R
$\sum 1$	990	17	46	1	579	7	1108	18
$\sum 2$	668	11	508	6	358	4	1130	18
$\sum 3$	635	10	607	9	279	3	756	15
$\sum 4$	700	12	850	16	166	2	583	8
$\sum 5$	740	14	1134	20	405	5	737	13
$\sum$		64		52		21		73
$\sum 1$	721	19	100	6	63	4	281	12
$\sum 2$	784	20	55	2,5	153	9	161	10
$\sum 3$	485	16	76	5	108	7	265	11
$\sum 4$	329	13	112	8	55	2,5	347	14
$\sum 5$	515	17	559	18	49	1	399	15
$\sum$		85		39,5		23,5		62

Tabelle 20: Vergleich der Mikro- und Makrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Gußkanaldurchmessern bei "E 316" ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	G ₁	R	G ₂	R	G ₃	R	G ₄	R
Σ ₁	1204	17	218	1	1140	15	1271	19
Σ ₂	730	6	1164	16	689	4	1341	20
Σ ₃	782	7	900	12	631	3	903	13
Σ ₄	885	11	927	14	424	2	709	5
Σ ₅	868	9	1210	18	875	10	858	8
Σ		50		61		34		65
Σ ₁	924	20	481	10	326	6	651	17
Σ ₂	869	19	88	1	485	11	390	8
Σ ₃	580	15	362	7	279	4	550	13
Σ ₄	421	9	300	5	185	2	539	12
Σ ₅	571	14	671	18	187	3	615	16
Σ		77		41		26		66

Tabelle 21: Vergleich der Mikrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Gußkanaldurchmessern bei "Gray" ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	G ₁	R	G ₂	R	G ₃	R	G ₄	R
Σ ₁	811	7	495	2	1174	17	1314	18
Σ ₂	654	5	940	11	965	12	1445	19
Σ ₃	442	1	843	8	1011	13	848	9
Σ ₄	1152	16	1027	14	499	3	611	4
Σ ₅	1873	20	1034	15	873	10	803	6
Σ		49		50		55		56
Σ ₁	421	13	330	9	941	18	360	12
Σ ₂	337	11	202	4	567	16	467	14
Σ ₃	469	15	337	10	976	19	220	5
Σ ₄	125	2	135	3	1158	20	226	6
Σ ₅	99	1	239	7	654	17	306	8
Σ		42		33		90		45

Tabelle 22: Vergleich der Makrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Gußkanaldurchmessern bei "Gray" ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	G ₁	R	G ₂	R	G ₃	R	G ₄	R
$\sum_1$	3151	19	903	9	253	1	888	7
$\sum_2$	2140	16	1145	12	466	3	956	10
$\sum_3$	1877	14	3031	17	1122	11	1488	13
$\sum_4$	3141	18	876	6	1818	15	630	4
$\sum_5$	3710	20	896	8	744	5	339	2
$\sum$		87		52		35		36
$\sum_1$	320	10	812	20	373	12	323	11
$\sum_2$	175	3	31	1	197	4	800	19
$\sum_3$	289	8	679	17	770	18	111	2
$\sum_4$	204	5	577	15	620	16	235	6
$\sum_5$	265	7	423	13	434	14	311	9
$\sum$		33		66		64		47

Tabelle 23: Vergleich der Mikro- und Makrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Gußkanaldurchmessern bei "Gray" ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	G ₁	R	G ₂	R	G ₃	R	G ₄	R
$\sum_1$	3962	18	1389	3	1427	4	2202	11
$\sum_2$	2794	16	2085	9	1431	5	2401	14
$\sum_3$	2319	12	3874	17	2133	10	2336	13
$\sum_4$	4293	19	1903	7	2417	15	1241	2
$\sum_5$	5583	20	1930	8	1617	6	1142	1
$\sum$		85		44		40		41
$\sum_1$	320	10	1142	16	1314	18	683	9
$\sum_2$	512	6	232	1	764	13	1267	17
$\sum_3$	758	12	1012	14	1746	19	331	3
$\sum_4$	329	2	712	10	1778	20	461	5
$\sum_5$	364	4	662	8	1088	15	617	7
$\sum$		35		49		85		41

Tabelle 24: Vergleich der Mikrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Gußkanaldurchmessern bei "Kompens" ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	G ₁	R	G ₂	R	G ₃	R	G ₄	R
S -	Σ ₁	122	217	13	387	19	654	20
	Σ ₂	158	165	6	234	15	265	17
	Σ ₃	154	249	16	359	18	225	14
	Σ ₄	130	186	9	187	10,5	199	12
	Σ ₅	173	187	10,5	147	3	174	8
	Σ			54,5		65,5		71
S +	Σ ₁	285	150	8	228	18	235	19
	Σ ₂	181	117	5	85	3	184	13
	Σ ₃	179	152	9	195	14	215	16
	Σ ₄	79	133	7	220	17	108	4
	Σ ₅	170	199	15	121	6	65	1
	Σ			44		58		53

Tabelle 25: Vergleich der Makrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Gußkanaldurchmessern bei "Kompens" ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	G ₁	R	G ₂	R	G ₃	R	G ₄	R
S -	Σ ₁	694	8	1328	18	20	608	6
	Σ ₂	292	2	582	5	16	255	1
	Σ ₃	422	4	1006	14	19	700	9
	Σ ₄	397	3	1118	15	7	717	10
	Σ ₅	890	13	769	11	12	1319	17
	Σ		30		63	74		43
S +	Σ ₁	421	11	94	5	16	464	15
	Σ ₂	382	10	51	3,5	3,5	33	1
	Σ ₃	780	19	440	12	13	544	18
	Σ ₄	122	6	244	7	8	378	9
	Σ ₅	622	20	459	14	17	37	2
	Σ		66		41,5	47,5		55

Tabelle 26: Vergleich der Mikro- und Makrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Gußkanaldurchmessern bei "Kompens" ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	G ₁	R	G ₂	R	G ₃	R	G ₄	R
Σ ₁	816	7	1535	18	2614	20	1262	14
Σ ₂	450	1	747	5	1355	16	520	2
Σ ₃	576	4	1255	13	1691	19	925	9
Σ ₄	527	3	1304	15	812	6	916	8
Σ ₅	1063	12	956	10	1116	11	1493	17
Σ		27		61		72		50
Σ ₁	706	17	244	6	699	15,5	699	15,5
Σ ₂	563	10	168	3	136	2	217	5
Σ ₃	959	20	592	11	645	14	759	18
Σ ₄	201	4	377	7	472	8	468	9
Σ ₅	792	19	658	13	600	12	102	1
Σ		70		40		51,5		48,5

Tabelle 27: Vergleich der Mikrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Gußkanaldurchmessern bei "Duroterm" ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	G ₁	R	G ₂	R	G ₃	R	G ₄	R
Σ_1	138	2	262	15	167	4	225	10
Σ_2	252	13,5	157	3	205	7	252	13,5
Σ_3	234	11	222	9	307	17	176	5
Σ_4	270	16	247	12	204	6	210	8
Σ_5	344	18	363	19	410	20	99	1
Σ		60,5		58		54		37,5
Σ_1	375	17	249	14	405	18	179	7
Σ_2	322	16	196	9	205	11	90	1
Σ_3	228	12	158	3	173	6	530	20
Σ_4	481	19	169	4	189	8	253	15
Σ_5	244	13	137	2	201	10	172	5
Σ		77		32		53		48

Tabelle 28: Vergleich der Makrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Gußkanaldurchmessern bei "Duroterm" ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	G ₁	R	G ₂	R	G ₃	R	G ₄	R
Σ ₁	164	3	1502	17	46	1	770	9
Σ ₂	314	4	1080	14	95	2	590	7
Σ ₃	820	11	1773	19	1146	15	542	5
Σ ₄	756	8	886	12	12	6	790	10
Σ ₅	986	13	1611	18	2032	20	1371	16
Σ		39		80		44		47
Σ ₁	170	5	283	8	318	9	46	2
Σ ₂	232	6	330	11	328	10	15	1
Σ ₃	354	13	547	15	931	19	158	4
Σ ₄	338	12	282	7	788	18	430	14
Σ ₅	767	17	621	16	1044	20	133	3
Σ		53		57		76		24

Tabelle 29: Vergleich der Mikro- und Makrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Gußkanaldurchmessern bei "Duroterm" ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	G ₁	R	G ₂	R	G ₃	R	G ₄	R
$\sum_1$	302	3	1764	17	213	1	995	8
$\sum_2$	566	4	1237	13	300	2	842	7
$\sum_3$	1054	12	1959	18	1483	16	718	5
$\sum_4$	1026	10	1033	11	748	6	1000	9
$\sum_5$	1330	14	1974	19	2442	20	1470	15
$\sum$		43		78		45		44
$\sum_1$	545	8	532	6	723	14	325	3
$\sum_2$	554	9	526	5	533	7	105	1
$\sum_3$	582	10	705	13	1104	19	688	12
$\sum_4$	819	16	450	4	977	17	683	11
$\sum_5$	1011	18	758	15	1245	20	305	2
$\sum$		61		43		77		29

Tabelle 30: Vergleich der Mikrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Einbettmassen Bei G₁ ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	E 316	R	Kompens	R	Gray	R	Deguvest	R	Duroterm	R	
S -	$\sum_1$	990	23	122	6	811	22	113	5	138	8
	$\sum_2$	668	19	158	10	654	18	40	1	252	13
	$\sum_3$	635	17	154	9	442	16	71	3	234	12
	$\sum_4$	700	20	130	7	1152	24	100	4	270	14
	$\sum_5$	740	21	173	11	1187	25	60	2	344	15
	$\sum$		100		43		105		15		62
S +	$\sum_1$	721	24	285	14	421	19	46	1	375	18
	$\sum_2$	784	25	181	11	337	17	63	2	322	15
	$\sum_3$	485	22	179	10	496	20	101	6	228	12
	$\sum_4$	329	16	79	4	125	8	118	7	481	21
	$\sum_5$	515	23	170	2	99	5	73	3	224	13
	$\sum$		110		48		69		19		79

Tabelle 31: Vergleich der Mikrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Einbettmassen bei G₂ ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	Duroterm	R	Deguvest	R	Gray	R	Kompens	R	E 316	R	
S -	Σ_1	262	17	108	5	495	20	217	13	172	9
	Σ_2	157	7	118	6	940	23	165	8	656	21
	Σ_3	222	14	73	1	843	22	249	16	293	18
	Σ_4	247	15	193	12	1027	24	186	10	77	3
	Σ_5	363	19	89	4	1034	25	187	11	76	2
	Σ		72		28		114		58		53
S +	Σ_1	249	21	26	1,5	330	23	150	13	381	25
	Σ_2	196	17	26	1,5	202	19	117	8	33	3
	Σ_3	158	14	72	6	334	24	152	12	286	22
	Σ_4	168	15	45	4	125	10	133	9	188	16
	Σ_5	137	11	63	5	239	20	199	18	112	7
	Σ		78		18		96		60		73

Tabelle 32: Vergleich der Mikrolunkersummen zwischen Gruppierungen
nach den Einbettmassen bei G₃ ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	E 316	R	Kompens	R	Gray	R	Deguvest	R	Duroterm	R
S-	Σ_1	561	387	17	1174	25	306	11	167	3
	Σ_2	331	234	9	965	23	197	5	205	7
	Σ_3	352	359	15	1011	24	225	8	307	12
	Σ_4	258	187	4	499	20	115	1	204	6
	Σ_5	470	147	2	873	22	367	16	410	18
	Σ			47		114		41		46
S +	Σ_1	263	228	17	941	23	85	5	405	20
	Σ_2	332	85	4	567	21	57	2	205	15
	Σ_3	171	195	13	976	24	30	1	173	11
	Σ_4	130	220	16	1158	25	95	6	189	12
	Σ_5	138	121	7	654	22	77	3	201	14
	Σ			57		115		17		72

Tabelle 33: Vergleich der Mikrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Einbettmassen bei G_4 ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	Duroterm	R	Deguvest	R	Gray	R	Kompens	R	E 316	R
S -	$\Sigma 1$	225	152	8	1314	24	654	21	163	9
	$\Sigma 2$	252	77	2	1445	25	265	19	201	13
	$\Sigma 3$	176	50	1	848	23	225	16,5	147	7
	$\Sigma 4$	210	213	15	611	20	199	12	126	5
	$\Sigma 5$	99	127	6	803	22	174	10	121	4
	Σ			32		114		78,5		38
S +	$\Sigma 1$	179	84	3	360	23	235	18	270	20
	$\Sigma 2$	90	149	6	467	24	184	10	229	17
	$\Sigma 3$	530	76	2	520	15	215	13	285	21
	$\Sigma 4$	253	192	11,5	226	16	108	5	192	11,5
	$\Sigma 5$	172	154	7	306	22	65	1	216	14
	Σ			29,5		100		47		83,5

Tabelle 34: Vergleich der Makrolunkersummen zwischen Gruppierungen
nach den Einbettmassen bei G_1 ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	E 316	R	Kompens	R	Gray	R	Deguvest	R	Durotem	R
S -	$\sum_1$	990	20	694	13	3151	24	0	164	6
	$\sum_2$	668	12	292	7	2140	22	0	314	8
	$\sum_3$	635	11	422	10	1877	21	10	820	17
	$\sum_4$	700	14	397	9	3141	23	10	756	16
	$\sum_5$	740	15	890	18	3710	25	27	986	19
	$\sum$		72		57		115			66
S +	$\sum_1$	721	22	421	18	320	13	10	170	7
	$\sum_2$	784	25	382	17	175	8	0	232	10
	$\sum_3$	485	19	780	24	289	12	20	354	16
	$\sum_4$	329	14	122	6	204	9	0	338	15
	$\sum_5$	515	20	622	21	265	11	0	767	23
	$\sum$		100		86		53			71

Tabelle 35: Vergleich der Makrolunkersummen zwischen Gruppierungen
nach den Einbettmassen bei G₂ ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	Duroterm	R	Deguvest	R	Gray	R	Kompens	R	E 316	R
S -	Σ_1	1502	0	22	903	15	1328	21	46	6
	Σ_2	1080	33	17	1145	20	582	8	508	7
	Σ_3	1737	40	24	3031	25	1006	16	607	9
	Σ_4	886	42	13	876	12	1118	19	850	11
	Σ_5	1611	26	23	896	14	769	10	1134	18
	Σ			99		86		74		51
S +	Σ_1	283	20	15	812	25	94	10	100	11
	Σ_2	330	0	4	31	6	51	7	55	8
	Σ_3	547	20	1,5	678	24	440	18	76	9
	Σ_4	282	0	4	577	22	244	13	112	12
	Σ_5	621	20	1,5	423	17	459	19	559	20
	Σ			89		94		67		60

Tabelle 37: Vergleich der Makrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Einbettmassen bei G₄ ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	E 316	R	Kompens	R	Gray	R	Deguvest	R	Duroterm	R
S -	$\Sigma 1$	1108	21	608	11	888	19	0	770	17
	$\Sigma 2$	1130	22	255	6	956	20	30	590	10
	$\Sigma 3$	756	16	700	13	1488	25	0	542	8
	$\Sigma 4$	583	9	717	14	630	12	11	790	18
	$\Sigma 5$	737	15	1319	23	339	7	0	1371	24
	Σ		83		67		83	15		77
S +	$\Sigma 1$	281	16	464	23	323	18	11	46	9
	$\Sigma 2$	161	13	33	7	800	25	0	15	6
	$\Sigma 3$	265	15	544	24	111	10	0	158	12
	$\Sigma 4$	347	19	378	20	235	14	0	430	22
	$\Sigma 5$	399	21	37	8	311	17	0	133	11
	Σ		84		82		84	15,0		60

Tabelle 38: Vergleich der Mikrolunker- und Makrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Einbettmassen bei G_1 ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	E 316	R	Kompens	R	Gray	R	Deguvest	R	Duroterm	R
S -	Σ_1	1204	19	816	3962	23	113	5	302	6
	Σ_2	730	11	450	2794	22	40	1	566	9
	Σ_3	782	12	576	2319	21	81	2	1054	17
	Σ_4	885	15	527	4293	24	110	4	1026	16
	Σ_5	868	14	1063	5583	25	87	3	1330	20
	Σ		71			115		15		68
S +	Σ_1	924	23	706	741	18	56	1	545	11
	Σ_2	869	22	563	512	10	63	2	554	12
	Σ_3	580	15	958	758	19	121	5	582	16
	Σ_4	421	9	201	329	7	118	4	819	21
	Σ_5	571	14	792	364	8	73	3	1011	25
	Σ		83			62		15		85

Tabelle 39: Vergleich der Mikrolunker- und Makrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Einbettmassen bei G_2 ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	Duroterm	R	Deguvest	R	Gray	R	Kompens	R	E 316	R
S -	Σ_1	1764	19	108	1	1389	17	18	218	5
	Σ_2	1237	14	151	4	2085	24	7	1164	12
	Σ_3	1959	22	113	2	3874	25	15	900	8
	Σ_4	1033	11	235	3	1930	21	10	1210	13
	Σ_5	1974	23	115	3	1903	20	16	927	9
	Σ		89		16		107	66		47
S +	Σ_1	532	16	46	3	1142	25	9	481	14
	Σ_2	526	15	26	1	232	8	7	88	5
	Σ_3	705	21	92	6	1012	24	17	362	11
	Σ_4	450	13	45	2	712	22	12	300	10
	Σ_5	758	23	83	4	662	19	18	671	20
	Σ		88		16		98	63		60

Tabelle 40: Vergleich der Mikrolunker- und Makrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Einbettmassen bei G₃ ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	E 316	R	Kompens	R	Gray	R	Deguvest	R	Duroterm	R
S -	$\sum_1$	1140	15	2614	25	1427	17	336	213	2
	$\sum_2$	689	10	1355	16	1437	18	222	300	5
	$\sum_3$	631	9	1691	21	2133	22	235	1483	19
	$\sum_4$	424	8	812	12	2417	23	125	748	11
	$\sum_5$	875	13	1016	14	1617	20	397	2442	24
	$\sum$		55		88		100	21		61
S +	$\sum_1$	326	10	699	16	1314	23	160	723	17
	$\sum_2$	485	12	136	5	764	18	96	533	13
	$\sum_3$	279	9	645	15	1746	24	30	1104	21
	$\sum_4$	185	7	472	11	1778	25	95	977	19
	$\sum_5$	187	8	600	14	1088	20	77	1245	22
	$\sum$		46		61		110	16		92

Tabelle 41: Vergleich der Mikro- und Makrolunkersummen zwischen Gruppierungen nach den Einbettmassen bei G_4 ohne (oben) und mit Steiger (unten)

	Duroterm	R	Deguvest	R	Gray	R	Kompens	R	E 316	R
S -	Σ_1	995	14	125	4	2202	23	1262	18	1271
	Σ_2	842	9	107	2	2401	25	520	6	1341
	Σ_3	718	8	50	1	2336	24	925	13	903
	Σ_4	1000	15	224	5	1241	17	916	12	709
	Σ_5	1470	21	127	3	1142	16	1493	22	858
	Σ		67		15		105		71	67
S +	Σ_1	325	10	95	2	683	29,5	699	23	651
	Σ_2	105	4	145	5	1267	25	617	8	390
	Σ_3	686	22	76	1	331	11	759	24	550
	Σ_4	683	20,5	192	7	461	13	486	14	535
	Σ_5	305	9	154	6	617	18	102	3	615
	Σ		65,5		21		87,5		72	79

LITERATURVERZEICHNIS

1. Beeck, K.H.: Wissenswertes über die Metallverarbeitung unter besonderer Berücksichtigung des Gußproblems. Zahnärztl.Welt 24, 322 (1954)
2. Bonsack, Ch.: Der heutige Stand des Gußproblems.
Dtsch.zahnärztl.Z. 8, 67 (1953)
3. Degussa: Versuche zur Bestimmung der Weite von Gußkanälen.
Degussa-Brief Nr.10 (1930)
4. Degussa: Wie bekommt man dichte lunkerfreie Güsse?
Degussa-Brief Nr.22 (1954)
5. Degussa: Das Anbringen von Gußkanälen. Teil 1.
Degussa-Brief Nr.23 (1955)
6. Degussa: Das Anbringen von Gußkanälen. Teil 2.
Degussa-Brief Nr.24 (1956)
7. Degussa: Wird die Paßgenauigkeit von MOD-Füllungen und Teleskopkronen durch die Richtung des Gußkanals beeinflusst?
Degussa-Brief Nr.30 (1960)
8. Degussa: Eigenschaften und Verarbeitung der Legierung Degudent.
Vita-VMK-Degudent Technik, Informationen. 1965 II
9. Falck, K. - Weikart, P.: Werkstoffkunde für Zahnmediziner.
München 1959
10. Fritsch, C., Elbrecht, A., Nowack, L.: Das Gießen mit dem verlorenen Kopf. Zahnärztl.Rdsch. 39, 709 (1930)
11. Hollenback, S.: Shrinkage during casting of gold and gold alloys.
J.Amer.dent.Ass. 33, 11 (1959)
12. Jung, F.: Studium über Einbettungsmassen und ihr Einfluß auf die Oberflächengestaltung von Gußarbeiten.
Dtsch.zahnärztl.Wschr. 7, 121 (1926)
13. Loebich, O.: Der Lunker und seine Vermeidung.
Dtsch. zahnärztl. Z. 18, 1037 (1953)
14. Moeller, K.-P.: Beitrag zur Klassifizierung von Gußfehlern bei zahnärztlichen Metallarbeiten. Med.Diss. Berlin 1963

15. Knappwost, A.: Über das thermische Expansions- und Kontraktionsverhalten von Dentallegierungen und Einbettmassen und deren Beziehung zur Sekundärkaries. Zahnärztl.Welt 4, 523 (1949)
16. Pfanzagl, J.: Allgemeine Methodenlehre der Statistik II. (Sammlung Götschen) Berlin 1966
17. Schmitt, K.H.: Die Vermeidung von Fehlern und Mißerfolgen bei Metallgüssen. Dtsch.zahnärztl.Z. 4, 1432 und 1496 (1949)
18. Takao Fusajama: Faktoren und Technik beim Präzisionsguß. Quintessenz 10, Nr.12, Ref. 1328 (1959)
19. Wagner, E.: Metallkundliche Betrachtungen des Gießens von Goldlegierungen. Zahnärztl.Praxis 9, 201 (1958)

Am Ende dieser Arbeit gilt mein herzlicher Dank
Herrn Priv.Doiz. Dr.H.Marx, der mir das Thema
freundlicherweise überlassen hat. Er hat mir darüber
hinaus durch sachkundige Anregungen und bereitwillige
Unterstützung wertvolle Dienste erwiesen.

Die kritische Korrektur und manchen nützlichen Hinweis
bei der statistischen Bearbeitung der Untersuchungsergeb-
nisse durch Herrn Priv.Doiz. Dr.H.Lange, Mainz,
habe ich dankbar entgegengenommen.

LEBENS LAUF

Am 7. März 1939 wurde ich in Gleiwitz (Oberschlesien) als Sohn des Bankbeamten Erich Dygatz und seiner Ehefrau Lydia, geb. Taurus, geboren.

Von 1945 bis 1952 wohnte ich mit meinen Eltern in Tönning (Schleswig-Holstein), das Abitur bestand ich am 26.2.1960 in Wittlich/Mosel am neusprachlichen Cusanus-Gymnasium.

Vom Sommer-Semester 1960 an bis zum Winter-Semester 1965/66 war ich an der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz als ordentlicher Student der Zahnheilkunde immatrikuliert.

Im August 1966 bestand ich das Staatsexamen.

Seitdem bin ich zahnärztlich tätig gewesen, vom Juni 1967 an absolvierte ich eine einjährige Wehrübung bei der Bundeswehr als Sanitätsoffizier.

